

## Auto Selection 방법과 캘리브레이션을 이용한 정밀 계측 장치 설계

김운서, 양 오  
 청주 대학교 전자공학과

### A Design of the precision-measuring System with Auto Selection and Calibration

Kim Youn Seo, Yang Oh  
 Dept. of Electronic Engineering Chong-ju University

**Abstract** - 전력 계통의 사고 검출과 사고예측으로 계통의 안정성과 신뢰성을 확보하여 전력계통의 최적 운영을 유지하게 하기 위해서는 전력계통의 가장 기본적인 요소인 전압, 전류, 전력, 주파수 및 위상의 정확한 계측이 필요하게 되는데, 넓은 범위의 입력신호를 AD 변환 범위로 변환하게 되면 작은 입력신호에 대해서는 AD로 너무 작은 신호로 변환되어 정확한 계측을 할 수가 없게 된다. 이러한 문제를 해결하기 위해 입력 신호의 크기에 따라 증폭비율을 자동적으로 선택할 수 있는 방법과 PT나 CT의 특성에 따른 신호 왜곡과 AD 컨버터의 비선형성에 따른 신호 계측의 오차를 줄일 수 있는 캘리브레이션 방법을 소개하고자 한다.

#### 1. 서 론

전력수요는 지속적으로 고성장하고 있지만 전원설비와 송전선로의 입지문제 때문에 그 성장 속도를 따라가지 못해 특정지역의 특정 전원단지가 대규모로 육성되고 있다. 이에 따른 전압과 부하의 편중현상에 의해 특정선로의 용량이 증가하고 있으며, 이는 전력계통 안정성에 심각한 영향을 미치고 있다. 또한 전력수요가 증가함에 따라 전력 시스템이 갈수록 복잡해지고 있기 때문에 전력 계통의 신뢰도를 유지하고, 안정된 상태에서 고품질의 전력을 공급하기 위하여 고장전류계산, 전력조류계산, 경제제전, 고조파 해석, 전압강하, 모터기동분석, 안정도해석 등의 다양한 해석 기법 및 제어기법들이 소개되어 발전되어 왔다.[1]

전력계통 감시제어 보호 시스템은 전력 에너지를 안정적으로 공급하는 중추 시스템이며, 전력 계통 운용의 고도화에 따라 점점 그 책무가 중요해지고 있다. 감시제어 시스템은 실시간으로 변화하는 전력수요에 맞추어 발전 전력을 제어하는 수급제어, 계통 사고 발생 시에 송전 루트를 전환하여 정전을 방지하는 계통제어, 발전전소의 집중 제어 등을 담당한다. 계통 보호 시스템은 낙뢰, 태풍 등의 원인으로 계통 사고가 발생했을 때에 순간적으로 사고 구간을 차단하여 계통 사고가 전전 계통에 파급되는 것을 방지한다. 어느 쪽의 시스템이든 고신뢰성과 전력계통에 발생하는 현상을 제어하는 데에 충분한 고속처리 성능이 요구된다.[2]

따라서 전력계통에서 신뢰성을 저해하는 사고나 고장이 발생할 경우 이를 신속하게 분석, 파악, 고장 현상 및 각종 보호 장치의 동작 상태를 기록하여 사고 원인을 분석하는 기능과 전력계통의 동요 및 불안정 상황이 발생할 경우 사전 발생 자료를 검출 기록 분석 및 평가에 의한 사고 예지 및 계통 동요 분석 기능을 갖고 있는 전력 계통 상태 감시분석 장치가 필요하게 되며, 전력 계통의 사고 검출과 사고예측으로 계통의 안정성과 신뢰성을 확보하여 전력계통의 최적 운영을 유지하게 하기 위해서는 전력계통의 가장 기본적인 요소인 전압, 전류, 전력, 주파수 및 위상의 정확한 계측이 필요하다.

전압은 항상 일정크기를 유지하기 때문에 특정 영역에서 비교적 정확한 계측을 할 수 있지만 전류의 경우 부하의 상태에 그 크기가 상당히 유동적으로써, 변화의 폭이 다양하게 변화하게 되는데, 이때 AD 컨버터의 변환 입력 범위가 한정되어 있기 때문에 큰 값의 영역에서는 비교적 정확한 계측이 이루어지지만, 낮은 값 영역에서는 그러지 못하다. 본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하기 위한 방법으로 높은 영역값은 그대로 계측을 하고 낮은 영역의 값은 정밀도를 높일 수 있는 높은 영역의 값으로 변환하여 계측을 하되, 입력 신호의 크기에 따라 자동적으로 선택할 수 있는 방법과 대신호를 소신호로 변환하기 위한 transducer(PT, CT)의 특성에 따른 신호 왜곡과 AD 컨버터의 비선형성에 따른 신호 계측의 오차를 줄일 수 있는 캘리브레이션 방법을 소개하고자 한다.

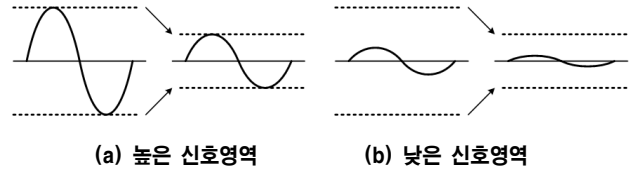
#### 2. 본 론

##### 2.1 Auto-Selection

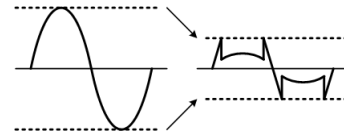
AD 컨버터의 변환 입력 범위가 한정되어 있으므로 계측신호를 AD변환 입력 범위로 스케일링해야만 하며 그 결과를 <그림 1>에 나타내었다. <그림 1> (a)에서 볼 수 있듯이 큰 신호는 스케일링 되더라도 신호

의 형태를 유지하고 신호의 크기 때문에 Full scale 범위에 있게 되어 그 값을 정확히 계측할 수가 있지만, 작은 신호는 <그림 1> (b)에서처럼 스케일링이 되면 크기가 작으므로 노이즈의 영향이 상대적으로 크게 되어 정확한 계측을 할 수 없게 된다. 따라서 작은 입력 신호에 대해서도 AD 변환 입력 범위의 Full scale 범위에서 계측하여 정밀도를 높여야만 한다. 이렇듯 입력 신호의 크기에 상관없이 AD 변환 입력 범위의 Full scale 범위에서 값을 계측해야 정밀한 값을 얻을 수가 있다.

Auto-selection 방법은 입력 신호의 크기에 따라 입력된 원(original) 신호와 full scale로 증폭된 두 신호 중에 자동적으로 선택해서 신호 계측을 할 수 있도록 한 것이다. <그림 2>에 Auto-selection 방법이 적용되어 Full scale 범위로 변환된 계측 신호를 나타내었다.



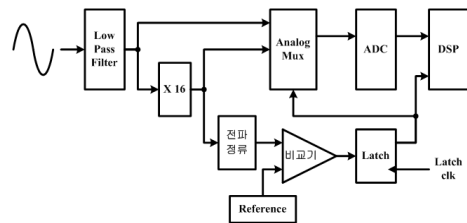
<그림 1> 계측 신호 크기에 따른 AD신호로의 변환



<그림 2> Auto-Selection을 적용한 계측 신호의

##### 2.1.1 Auto-Selection 구조

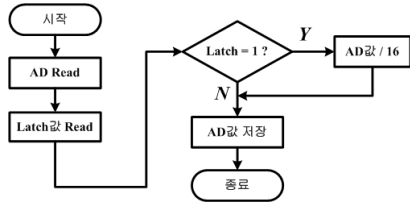
Auto-selection의 하드웨어적인 구조는 <그림 3>과 같다. 계측하고자 하는 신호를 LPF 처리한 후 이 신호를 16배 증폭한 신호와 임계값을 비교하여 그 비교 결과 값에 따라 필터 처리된 신호와 증폭한 신호 중에 하나를 선택하여 AD 컨버터에 전달하고, DSP에서는 비교 결과 값을 체크하여 현재 계측된 신호의 증폭배율이 얼마인지를 분석하여 원 신호의 크기를 계측하도록 한다.



<그림 3> Auto-Selection 구조 블록도

##### 2.1.1 Auto-Selection 알고리즘

Auto-selection에 의한 AD값 샘플링은 DSP에서의 소프트웨어적인 처리를 나타낸 것으로 <그림 4>에 나타내었다. 60hz의 신호를 128 샘플링하여 전압 또는 전류의 값을 계측한 것이다. 이것은 신호처리 전의 순수한 AD값을 읽는 것으로 한 샘플을 읽는 과정으로 130us의 인터럽트 루틴 안에서 수행된다. DSP에서 Latch된 비교기 출력값을 읽어 현재 샘플된 AD값이 원 신호인지 증폭된 신호인지를 분석하고 각각에 따라 캘리브레이션 및 신호처리를 하기 위한 순시 데이터 값으로 저장한다.



〈그림 4〉 Auto-Selection 알고리즘 순서도

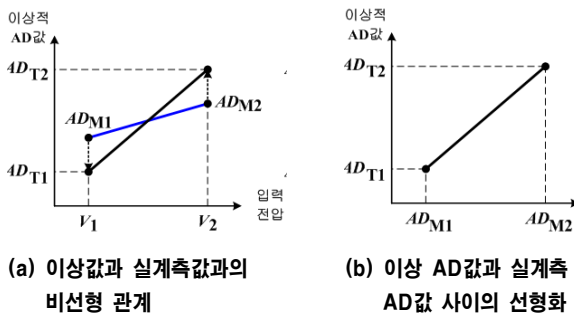
## 2.2 Calibration

계통상의 대신호를 소신호로 변환하기 위한 transducer(PT, CT)의 특성에 따른 신호 왜곡과 AD 컨버터의 비선형성에 의해 발생하는 신호 계측의 오차를 줄이기 위해 캘리브레이션 방법을 이용하였다. 이 방법은 두 포인트 간에 직선의 방정식을 구해 선형화하는 일반적인 방법으로 전체 계측 범위를 한 구간으로 해서 선형화 하면 중간 부분은 오차가 발생하기 때문에 큰 오차가 발생하는 부분에 캘리브레이션 포인트를 삽입하여 직선으로 근사화되는 여러 개의 소구간들로 나누고, 각 구간들에 대해 직선으로 선형화 시키는 방법이다.

### 2.2.1 Calibration 알고리즘

사용한 캘리브레이션 방법은 일반적인 두 포인트 사이의 직선의 방정식을 구해 선형화하는 것으로 실제 입력전압에 대해 〈그림 5〉(a)에서와 같이 실제 계측 AD값과 이론적인 AD값 사이의 오차가 발생할 경우, 〈그림 5〉(b)에서와 같이 실제 계측 AD값이 이론적인 AD값에 대응이 되도록 ( $AD_{M1} \rightarrow AD_{T1}$ ,  $AD_{M2} \rightarrow AD_{T2}$ ) 두 점 사이를 직선의 방정식으로 선형화 시킨다. 사용된 직선 방정식은 식(1)과 같으며, 기울기와 오프셋은 식(2)와 같이 구해지며, 선형화를 위한 최종 식은 식(3)과 같다.

여기서  $AD_T$ : 실 전압에 대한 이론적 AD값,  $AD_M$ : 실 계측 AD값이다.



〈그림 5〉 두 점 사이의 구간을 직선으로 선형화

$$y = ax + b \quad \text{식 (1)}$$

$$a = \frac{AD_{T2} - AD_{T1}}{AD_{M2} - AD_{M1}}, \quad b = y - ax = AD_{T2} - \frac{AD_{T2} - AD_{T1}}{AD_{M2} - AD_{M1}} \cdot AD_{M2} \quad \text{식 (2)}$$

$$y = \frac{AD_{T2} - AD_{T1}}{AD_{M2} - AD_{M1}} \cdot (x - AD_{M2}) + AD_{T2} \quad \text{식 (3)}$$

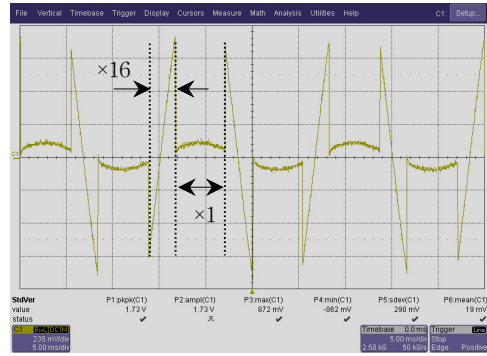
여기서 x는 실제 계측 AD값, y는 실제 전압에 대한 이론적 AD값이 된다. 즉 어떤 실제 전압에 대해 오차를 가지는 AD값이 계측되더라도 캘리브레이션 과정을 거치게 되면 그 전압에 대한 이론적인 AD값으로 변환을 시키는 것이다.

## 2.3 적용 System

Auto-selection 방법과 캘리브레이션이 적용된 시스템은 다음과 같다. 연산용 DSP로 TI의 TMS320VC33-150을 약 150MHz로 동작시켰으며, 전류 계측 범위는 0~100Arms로 한 주기당 128샘플을 계측하며, AI는 한 보드당 8채널이 있으며, 시스템에 최대 8 Slot까지 장착할 수 있다. AD변환기로는 LTC1605를 사용하였으며, LTC1605는 분해능 16bit, nonlinearity  $\pm 2$  LSB, input range  $\pm 10V$ 의 사양을 가지고 있다.[4]

## 2.4 계측 및 정밀도 분석

시스템의 전체 계측 범위는 0~100Arms이지만 실험 데이터의 계측은 10mArms~50Arms 까지 계측하였다. 실제 계측에서 입력 전압 값에 따른 배율 선택을 자동으로 한 AD 입력전압 파형을 〈그림 6〉에 나타내었다.



〈그림 6〉 Auto-Selection에 의한 배율 자동 선택 파형

### 2.4.1 Calibration을 적용하지 않은 경우

캘리브레이션을 하지 않은 상태에서의 전류의 계측 데이터를 <표 1>에 나타내었다.

〈표 1〉 Calibration을 적용하지 않은 전류 계측 데이터

입력 전류(A)	계측 전류(A)		입력 전류(A)	계측 전류(A)	
	최소	최대		최소	최대
0.01	0.013	0.013	6	5.986	5.995
0.05	0.045	0.045	7	6.988	7.001
0.1	0.094	0.094	8	7.992	8.007
0.5	0.491	0.491	9	8.993	9.012
1	0.988	0.990	10	9.995	10.014
2	1.984	1.988	20	20.017	20.06
3	2.981	2.987	30	30.029	30.092
4	3.978	3.986	40	40.048	40.134
5	4.976	4.985	50	50.069	50.172

### 2.4.2 Calibration을 적용한 경우 전류 계측 데이터

전류의 전(Full) 계측 구간에 대해 5개의 소구간으로 나누고 각 구간마다 캘리브레이션을 적용한 후의 계측 데이터를 <표 2>에 나타내었다.

〈표 2〉 Calibration을 적용한 전류 계측 데이터

입력 전류(A)	계측 전류(A)		입력 전류(A)	계측 전류(A)	
	최소	최대		최소	최대
0.01	0.013	0.013	6	5.99	6.01
0.05	0.048	0.048	7	6.99	7.01
0.1	0.1	0.1	8	7.99	8.01
0.5	0.499	0.5	9	8.99	9.01
1	0.99	1	10	9.99	10.01
2	1.99	2	20	19.96	20.01
3	2.99	3	30	29.97	30.01
4	3.99	4	40	39.92	40.0
5	4.99	5	50	49.96	50.0

## 3. 결 론

위의 2.4절의 계측데이터에 대한 실험 결과에서 알 수 있듯이 캘리브레이션을 적용한 경우(최대오차 0.1%)가 적용하지 않은 경우(최대오차 0.3%)보다 정밀도가 높은 것을 확인할 수 있으며, Auto-Selection 방법에 의해 낮은 범위의 입력 신호 값도 정밀 계측 할 수 있음을 알 수 있다. 이 방법은 비단 전력계통의 감시제어 시스템뿐만 아니라 정밀 계측을 요구하는 응용분야에 실제 적용, 사용될 수 있을 것으로 사려 된다.

## [참 고 문 헌]

- [1] 김세용, 신승걸, 이성우, "전력계통 해석을 위한 상용프로그램 소개", 전력기술인, pp38-43, 2001.11
- [2] 국제테크노정보 연구소, "리얼타임 인트라넷을 적용한 전력계통 감시제어 보호 시스템", 전자통신기술정보 웹진, [http://ktechno.co.kr/techgisa/power\\_sys.html](http://ktechno.co.kr/techgisa/power_sys.html)
- [3] TI, "TMS320VC33", datasheet
- [4] Linear Technology, "LTC1605", datasheet